

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	LHC-ATLAS検出器における重心系エネルギー13 TeV陽子陽子衝突データによるぼやけた二次崩壊点を用いた長寿命超対称性粒子の探索
Title(English)	Search for long-lived supersymmetric particles using fuzzy displaced vertices in pp collision at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the LHC-ATLAS detector
著者(和文)	潮田理沙
Author(English)	Risa Ushioda
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12826号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:陣内 修,中村 隆司,関口 仁子,宗宮 健太郎,須山 輝明
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12826号, Conferred date:2024/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	潮田理沙	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	陣内修	教授	須山輝明	教授
	審査員	中村隆司	教授		
		関口仁子	教授		
宗宮健太郎		教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

2012 年のヒッグス粒子の発見により完成した素粒子標準模型は幾つか根源的な問題を抱えている。その一つである暗黒物質は、様々な観測から実在が確立しているにも拘わらず、標準模型には対応する素粒子が存在しない。これら諸問題を包括的に解決する理論として超対称性模型が有望であり、理論が予言する超対称性粒子の探索が、世界最高エネルギー陽子陽子衝突実験 LHC にて継続的に進められているが観測には至ってない。超対称性粒子が、現状の探索領域を超え遥かに重い、もしくは質量階層が縮退するなど特殊な構造をもつために巧みに検出を逃れている可能性がある。前者については次世代の加速器計画を待つ必要があるが、後者については、手法の改良・工夫により検出感度を向上させ、現行実験のデータを用いて発見に迫ることが可能となる。暗黒物質の宇宙残存密度と適合する質量縮退領域では超対称性粒子が長寿命となり、検出器内の衝突点から離れた位置で崩壊する事象が発生する。更にその長寿命粒子がヒッグス粒子を通じてボトムクォーク対に崩壊するモードが主要となることが予想されている。この場合、ボトムクォーク自体も崩壊までに数 mm の飛程をもつ長寿命粒子であるため、崩壊点は空間の 1 点に集中せずばやけるため、これまで標準的に使われてきた長寿命粒子再構成手法では十分な感度が得られないことが分かっている。

本論文では、LHC-ATLAS 実験 2016-2018 年に取得された重心系エネルギー 13 TeV、積分ルミノシティ 137 fb^{-1} の Run-2 全統計を用いて、長寿命粒子がボトムクォーク対に崩壊し、崩壊点がばやける事象を対象とする探索を行った。長寿命粒子の標準再構成法では、崩壊点から生じる粒子飛跡が 1 点に交わることを要求するため検出効率が低い。本論文研究では、飛跡の交錯点への要求を緩めばやけた (Fuzzy) 崩壊点を再構成する手法を新たに開発した。ボトムクォーク崩壊チャンネルの感度を最大 6 倍にまで向上させ、一方で条件が緩むことで増加する背景事象を効率的に削減した。本解析はこの新手法を LHC のデータ解析に用いた世界で初めての結果となる。

本論文は “Search for long-lived supersymmetric particles using fuzzy displaced vertices in pp collisions at $\sqrt{s}=13\text{TeV}$ with the LHC-ATLAS detector” と題し、全 12 章から構成されている。第 1 章 Introduction では、研究背景の概要と動機、特徴、目標等を示している。第 2 章 Theoretical background では標準模型と超対称性の概要をまとめ、特に対象としている Bino-Wino annihilation 模型について暗黒物質残存密度と絡めて説明している。また信号事象への感度向上への探索方針も示している。第 3 章 LHC and ATLAS experiment では LHC 加速器と ATLAS 検出器、特に新手法に関係する飛跡検出器について詳細に解説している。第 4 章 Data and simulation samples では、使用した実データおよびシミュレーションデータの内容をまとめている。第 5 章 Physics object reconstruction では、飛跡、電子・ミュオン等、オブジェクトの再構成方法を、第 6 章 Displaced vertex reconstruction では、新たに開発した衝突点から離れた Fuzzy 崩壊点の再構成手法について述べている。第 7 章 Event selection では事象選別について、第 8 章 Background estimation では背景事象の評価と不定性、および確認領域を用いた背景事象評価の妥当性について検証し、信号領域に残る背景事象予想数を 0.81 ± 0.49 とした。第 9 章 Systematic uncertainties では多岐に渡る系統誤差を評価し、第 10 章 Results においてデータ解析の結果、信号領域に 3 事象を観測し、 1.59σ の超過があることを示した。第 11 章 Interpretation and discussion では、得られた事象数を元に統計処理を行い、第 2 ニュートラリーノの寿命を 0.03 ナノ秒、質量縮退を 50 GeV と仮定した場合の、質量の 95%信頼度下限値を 650 GeV とした。本研究の将来の発展方向についても述べている。12 章 Conclusion で論文全体をまとめている。以上、本論文は申請者の優れた研究能力と分野へのユニークな貢献を示すものであり、博士 (理学) 論文として高い価値があるものと認められる。